

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему:

**«Удосконалення конструкції фасувальної машини для точного
дозування та наповнення контейнерів сипучими матеріалами»**

Виконав: студент групи Маш-41

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

Богдан ЛАВРИСЬ

(Ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н. доцент Руслан ГУМЕНЮК

(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

Освітній ступінь «Бакалавр»
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри машинобудування

(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.
“ ” _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу студенту
Лаврися Богдану Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Удосконалення конструкції фасувальної машини для точного дозування та наповнення контейнерів сипучими матеріалами»

Керівник роботи: Гуменюк Руслан Васильович, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 14.01.2026 року № 31-4

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 12.06.2026 року

3. Вихідні дані: довідкова література, інтернет джерела, патенти на корисні моделі та винаходи; літературні джерела за тематикою; методики розрахунку та проектування; методики визначення економічної ефективності конструктивного удосконалення вузлів та деталей.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз конструкцій фасувальних машин для сипких матеріалів.
2. Конструкторсько-технологічний розділ.
3. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях.
4. Економічна ефективність удосконалення фасувальної машини. Висновки та пропозиції.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу

Графічні матеріали до кваліфікаційної роботи виконати у вигляді презентації в середовищі Microsoft PowerPoint.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,4	<i>Гуменюк Р.В. к.т.н., доцент кафедри машинобудування</i>			
3	<i>Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки</i>			

7. Дата видачі завдання: 14.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Поз. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання розділу: «Аналіз конструкцій фасувальних машин для сипких матеріалів»</i>	<i>14.01.26 05.02.26</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Конструкторсько-технологічний розділ»</i>	<i>06.02.26 24.03.26</i>	
3.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях»</i>	<i>25.03.26 29.04.26</i>	
4.	<i>Виконання розділу: «Економічна ефективність удосконалення фасувальної машини»</i>	<i>30.04.26 26.05.26</i>	
5.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Завершення роботи в цілому</i>	<i>27.05.26 12.06.26</i>	

Студент _____ Богдан ЛАВРИСЬ
(підпис)

Керівник роботи _____ Руслан ГУМЕНЮК
(підпис)

УДК 621.9.01

Удосконалення конструкції фасувальної машини для точного дозування та наповнення контейнерів сипучими матеріалами. Лавриць Б.В.– Кваліфікаційна робота. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького, 2026.

73 с. текст. част., 13 рис., 14 табл., 41 джерел, презентація граф. частини.

У кваліфікаційній роботі виконано удосконалення конструкції фасувальної машини для точного дозування та наповнення контейнерів сипучими матеріалами. Проведено аналіз сучасних фасувально-дозувальних машин та досліджено особливості роботи шнекових механізмів.

Запропоновано конструктивне удосконалення машини шляхом використання шнека змінної геометрії зі змінним кроком і змінним зовнішнім діаметром спіралі. Удосконалена конструкція забезпечує покращення переміщення сипкого матеріалу, зменшення застійних зон у бункері та підвищення стабільності процесу дозування.

У роботі виконано розрахунок продуктивності машини, параметрів шнека, потужності приводу, крутних моментів, точності дозування та міцності конструкції. Проведено аналіз охорони праці та економічної ефективності модернізації.

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що удосконалена фасувальна машина забезпечує продуктивність близько 3,24 т/год та знижує похибку дозування до 0,32–0,8 %. Річний економічний ефект від впровадження модернізованої конструкції становить понад 118 тис. грн.

Зміст

	Стор
Вступ	7
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ФАСУВАЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	9
1.1 Призначення та область застосування фасувальних машин.....	9
1.2 Класифікація фасувальних машин.....	10
1.3 Аналіз конструкцій шнекових фасувальних машин.....	11
1.4 Аналіз патентних та конструктивних рішень.....	16
1.5 Обґрунтування напрямку удосконалення.....	32
2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	34
2.1 Будова та принцип роботи фасувальної машини.....	34
2.2 Обґрунтування конструктивного удосконалення.....	38
2.3 Розрахунки машини.....	42
2.3.1 Розрахунок середнього кроку шнека.....	43
2.3.2 Розрахунок середнього зовнішнього діаметра спіралі.....	43
2.3.3 Розрахунок площі робочого перерізу шнека.....	43
2.3.4 Розрахунок об'ємної продуктивності шнека.....	44
2.3.5 Розрахунок масової продуктивності.....	45
2.3.6 Розрахунок часу наповнення одного контейнера.....	45
2.3.7 Розрахунок кількості контейнерів за годину.....	45
2.3.8 Розрахунок потужності приводу шнека.....	46
2.3.9 Розрахунок крутного моменту на валу шнека.....	47
2.3.10 Перевірка вала шнека на кручення.....	47
2.3.11 Розрахунок об'єму бункера.....	48
2.3.12 Розрахунок навантаження на раму.....	49
2.3.13 Розрахунок точності дозування.....	50
2.3.14 Порівняння базової та удосконаленої конструкції.....	51
3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.	53
3.1 Загальні положення з охорони праці.....	53

	6
3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	54
3.3 Вимоги безпеки до конструкції машини.....	55
3.4 Розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення.....	56
3.5 Розрахунок вентиляції виробничого приміщення.....	57
3.6 Заходи електробезпеки.....	58
3.7 Пожежна безпека.....	59
3.8 Захист у надзвичайних ситуаціях.....	59
3.9 Засоби індивідуального захисту.....	60
4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ФАСУВАЛЬНОЇ МАШИНИ.....	62
4.1 Загальні положення економічного обґрунтування.....	62
4.2 Визначення вартості модернізації машини.....	62
4.3 Порівняння продуктивності базової та удосконаленої машини.....	64
4.4 Розрахунок економії сипкого матеріалу.....	64
4.5 Розрахунок витрат електроенергії.....	65
4.6 Розрахунок річного економічного ефекту.....	66
4.7 Розрахунок терміну окупності.....	66
4.8 Розрахунок собівартості фасування.....	66
4.9 Порівняльна таблиця техніко-економічних показників.....	67
4.10 Аналіз економічної ефективності модернізації.....	68
Висновки та пропозиції.....	69
Бібліографічний список.....	71

Вступ

У сучасних умовах розвитку харчової, хімічної, фармацевтичної та агропромислової галузей особливо важливого значення набуває автоматизація процесів транспортування, дозування та фасування сипких матеріалів. Високі вимоги до якості продукції, точності маси фасування, продуктивності технологічних ліній і мінімізації втрат сировини зумовлюють необхідність удосконалення конструкцій фасувального обладнання.

Сипкі матеріали широко використовуються у багатьох галузях промисловості. До них належать борошно, крупи, цукор, комбікори, мінеральні добрива, порошкоподібні суміші, будівельні матеріали та інші продукти, які потребують точного дозування та рівномірного наповнення тари. Однією з основних проблем під час фасування таких матеріалів є забезпечення стабільної подачі продукту та високої точності дозування при різних фізико-механічних властивостях сипких речовин.

Ефективність роботи фасувальних машин значною мірою залежить від конструкції робочих органів, форми бункера, способу транспортування матеріалу, системи керування та точності вагового контролю. Недостатня точність дозування призводить до перевитрат сировини, збільшення собівартості продукції та зниження ефективності виробництва. Крім того, нерівномірна подача сипкого матеріалу, утворення зависань у бункері та нестабільність роботи шнекового механізму негативно впливають на продуктивність обладнання.

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності фасувальних машин є удосконалення конструкції шнекових дозувальних механізмів та впровадження сучасних тензометричних систем контролю маси. Використання конічних бункерів, вертикальних шнеків та автоматизованих систем керування дозволяє забезпечити рівномірну подачу матеріалу, підвищити точність дозування та зменшити втрати продукції.

Об'єктом дослідження є процес дозування та фасування сипких матеріалів у контейнери.

Предметом дослідження є конструкція фасувальної машини зі шнековим робочим органом та системою вагового контролю.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення конструкції фасувальної машини для підвищення точності дозування та ефективності наповнення контейнерів сипкими матеріалами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих конструкцій фасувальних машин;
- дослідити особливості дозування сипких матеріалів;
- виконати аналіз конструкції базової машини;
- обґрунтувати напрямок удосконалення конструкції;
- виконати інженерні розрахунки основних вузлів машини;
- визначити параметри шнекового робочого органу;
- оцінити точність дозування та продуктивність машини;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;
- визначити економічну ефективність запропонованого удосконалення.

Практичне значення роботи полягає у підвищенні точності фасування сипких матеріалів, зменшенні втрат продукції, покращенні стабільності роботи обладнання та підвищенні ефективності технологічного процесу. Запропоновані конструктивні рішення можуть бути використані на підприємствах харчової, агропромислової та переробної галузей.

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ФАСУВАЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Призначення та область застосування фасувальних машин

Фасувальні машини для сипких матеріалів призначені для автоматизованого дозування, подачі та наповнення контейнерів, пакетів, мішків або іншої тари продукцією із заданою точністю маси. Такі машини широко застосовуються у харчовій, хімічній, фармацевтичній, будівельній та агропромисловій галузях.

До основних сипких матеріалів, які підлягають фасуванню, належать:

- борошно;
- крупи;
- цукор;
- сіль;
- комбікорми;
- зернові суміші;
- порошкоподібні добавки;
- мінеральні добрива;
- будівельні суміші.

Основними вимогами до фасувальних машин є:

- висока точність дозування;
- стабільна продуктивність;
- мінімальні втрати матеріалу;
- герметичність конструкції;
- простота обслуговування;
- автоматизація процесу фасування;
- енергоефективність;
- відповідність санітарно-гігієнічним вимогам.

Фасувальні машини можуть працювати:

- у безперервному режимі;
- у циклічному режимі;
- у напіваавтоматичному режимі;
- у повністю автоматизованих технологічних лініях.

1.2 Класифікація фасувальних машин

Фасувальне обладнання класифікують за конструкцією робочих органів, способом дозування, рівнем автоматизації та типом матеріалу.

Таблиця 1.1 – Класифікація фасувальних машин

Ознака класифікації	Тип обладнання
За принципом дозування	вагові, об'ємні, комбіновані
За типом робочого органу	шнекові, стрічкові, вібраційні, клапанні
За режимом роботи	циклічні, безперервні
За рівнем автоматизації	ручні, напіваавтоматичні, автоматичні
За типом тари	мішкові, контейнерні, пакетні
За способом подачі	гравітаційні, примусові

Шнекові фасувальні машини отримали найбільше поширення завдяки:

- простоті конструкції;
- можливості точного дозування;
- стабільній подачі матеріалу;
- універсальності;
- компактності.

1.3 Аналіз конструкцій шнекових фасувальних машин

Шнекові фасувальні машини використовують гвинтовий робочий орган для транспортування та дозування сипкого матеріалу. Принцип роботи полягає у переміщенні продукту вздовж осі шнека під дією обертального руху.

Основні переваги шнекових дозаторів:

- висока точність подачі;
- плавне регулювання продуктивності;
- компактність;
- можливість роботи з дрібнодисперсними матеріалами;
- простота автоматизації.

Недоліки:

- нерівномірність подачі при зміні вологості матеріалу;
- можливість зависання продукту;
- підвищене енергоспоживання при ущільненні матеріалу;
- зношування шнека.

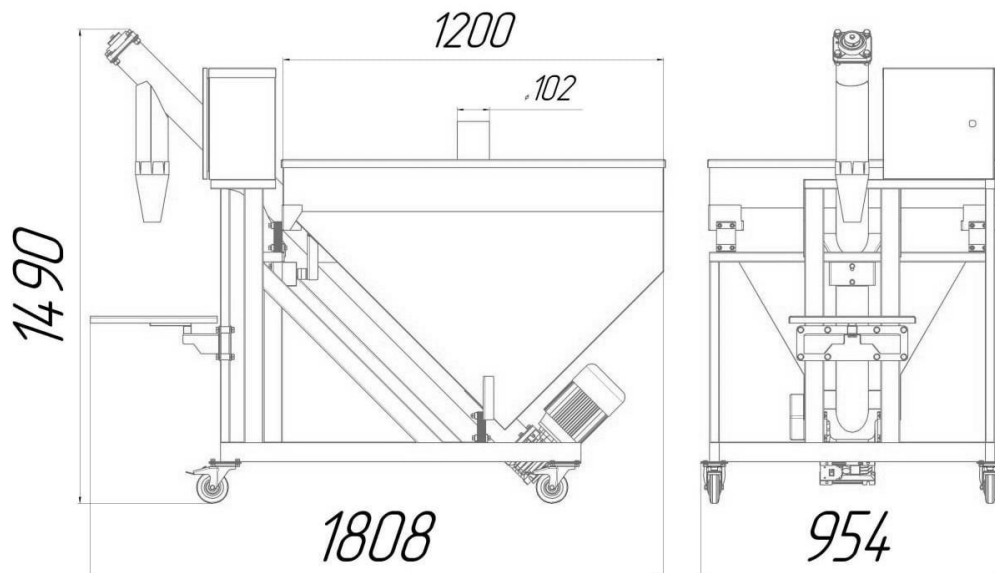


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд фасувальної машини для сипучих матеріалів

На представленому кресленні зображено загальний вигляд фасувальної машини для дозування та наповнення контейнерів сипучими матеріалами. Конструкція машини виконана у вигляді компактної мобільної установки на колісних опорах, що забезпечує зручність транспортування та експлуатації у виробничих умовах.

Машина складається з таких основних вузлів:

- приймального бункера;
- шнекового транспоруючо-дозувального механізму;
- вузла фасування;
- системи приводу;
- несучої рами;
- колісних опор;
- системи керування.

У центральній частині конструкції розташований бункер конічної форми, призначений для накопичення сипкого матеріалу та забезпечення його рівномірної подачі до робочого органу. Конічна геометрія сприяє самопливу продукту та зменшує ймовірність утворення застійних зон.

Подача матеріалу здійснюється за допомогою похилого шнекового транспортера, який транспортує продукт із нижньої частини бункера до фасувального патрубку. Шнековий механізм забезпечує:

- безперервність подачі;
- стабільність дозування;
- можливість регулювання продуктивності;
- рівномірне наповнення тари.

У верхній частині машини встановлений фасувальний вузол із патрубком для наповнення контейнерів або мішків. Для забезпечення точності дозування у конструкції може використовуватись система тензометричного контролю маси та автоматизоване керування процесом фасування.

Привід шнекового механізму здійснюється електродвигуном через мотор-редуктор, що дозволяє забезпечити необхідну частоту обертання робочого органу та стабільність технологічного процесу.

Несуча рама виготовлена зі сталевих профільних елементів та забезпечує:

- жорсткість конструкції;
- стійкість машини під час роботи;
- зручність монтажу основних вузлів.

Колісні опори дозволяють переміщати машину в межах виробничого приміщення без використання додаткових транспортних засобів.

Основні габаритні розміри машини:

- довжина — 1808 мм;
- ширина — 954 мм;
- висота — 1490 мм;
- ширина бункера — 1200 мм.

Перевагами представленої конструкції є:

- компактність;
- мобільність;
- простота обслуговування;
- можливість автоматизації;
- висока точність дозування;
- стабільність подачі сипких матеріалів.

Недоліками конструкції можуть бути:

- можливість зависання вологих матеріалів;
- нерівномірність подачі при зміні фізико-механічних властивостей продукту;
- зношування шнекового робочого органу;
- підвищене навантаження на привід при ущільненні матеріалу.

Представлена машина є перспективною основою для подальшого удосконалення конструкції з метою підвищення точності фасування та ефективності дозування сипких матеріалів.

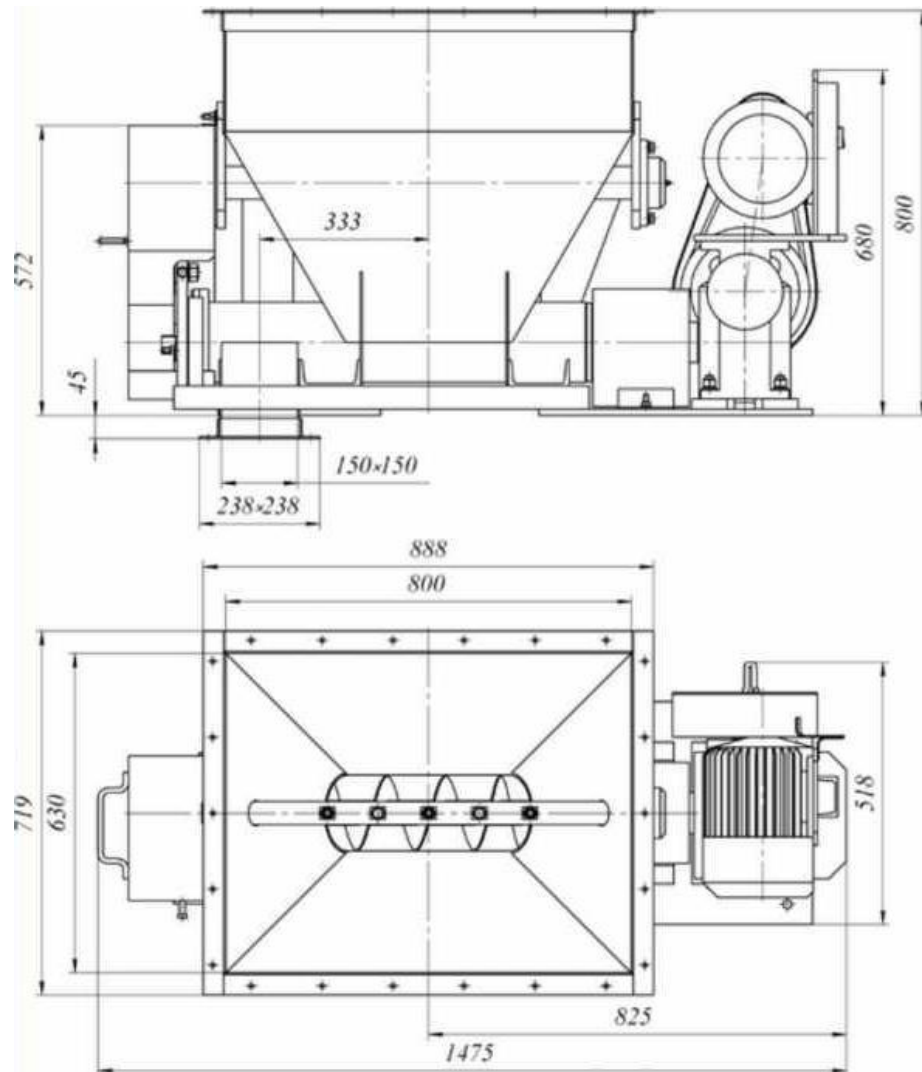


Рисунок 1.2 – Шнековий дозатор сипких матеріалів

На рисунку представлено конструкцію шнекового дозатора сипких матеріалів із горизонтальним робочим органом. Машина призначена для приймання, переміщення та точного дозування сипкого продукту у процесі фасування або подачі в технологічну лінію.

Конструкція машини включає:

- приймальний бункер;
- горизонтальний шнек;

- корпус шнека;
- приводний механізм;
- електродвигун;
- редуктор;
- раму та опорні елементи;
- вузол вивантаження матеріалу.

У верхній частині машини розташований бункер прямокутної форми, який служить для накопичення сипкого матеріалу та забезпечення його рівномірного надходження до шнекового робочого органу. Нижня частина бункера виконана у вигляді похилих стінок, що сприяє самопливному переміщенню продукту до зони захоплення шнеком.

Основним робочим органом є горизонтальний шнек, який встановлений у нижній частині бункера. Під час обертання шнека матеріал переміщується вздовж осі до вивантажувального патрубку. Шнек забезпечує:

- стабільність подачі;
- рівномірність дозування;
- регулювання продуктивності;
- безперервність транспортування сипкого матеріалу.

Привід робочого органу здійснюється електродвигуном через редуктор. Така конструкція дозволяє:

- зменшити частоту обертання шнека;
- підвищити крутний момент;
- забезпечити стабільну роботу під навантаженням.

На кресленні видно, що привідний вузол розташований збоку машини, що спрощує технічне обслуговування та ремонт обладнання.

Основні габаритні параметри машини:

- загальна довжина — 1475 мм;
- ширина бункера — 888 мм;
- висота конструкції — 800 мм;
- ширина нижнього вивантажувального отвору — 150×150 мм.

Конструкція дозатора забезпечує:

- компактність;
- простоту експлуатації;
- можливість інтеграції у виробничі лінії;
- достатню точність дозування;
- рівномірне переміщення сипких матеріалів.

До переваг конструкції належать:

- надійність роботи;
- простота виготовлення;
- зручність очищення;
- невеликі габаритні розміри;
- можливість автоматизації процесу дозування.

Недоліками даної конструкції є:

- можливе утворення застійних зон у кутах бункера;
- нерівномірна подача при підвищеній вологості продукту;
- зношування витків шнека;
- підвищене енергоспоживання при ущільненні матеріалу.

Аналіз представленої конструкції показує, що шнекові дозатори є ефективними для роботи із сипкими матеріалами, однак потребують удосконалення робочих органів та систем контролю подачі для підвищення точності фасування і стабільності технологічного процесу.

1.4 Аналіз патентних та конструктивних рішень

Для підвищення ефективності фасувальних машин сучасні виробники використовують:

- багатозаходні шнеки;
- комбіновані системи дозування;
- вібраційні активатори;
- тензометричні системи високої точності;

- автоматичне керування частотою обертання шнека;
- системи компенсації похибок дозування.



Рисунок 1.3 – Сучасні конструкції фасувально-дозувальних машин

На рисунку представлено багатокomпонентну автоматизовану фасувально-дозувальну установку для сипких матеріалів. Конструкція

призначена для накопичення, дозування, змішування та подачі різних компонентів у технологічному процесі виробництва сипких сумішей.

Конструкція установки складається з:

- багатосекційного накопичувального бункера;
- конічних приймальних воронок;
- шнекових дозаторів;
- мотор-редукторів;
- центрального змішувального вузла;
- опорної металевої рами;
- вузла вивантаження готової суміші;
- системи автоматизованого керування.

У верхній частині машини розташований багатосекційний бункер прямокутної форми, який поділений на окремі відсіки для зберігання різних сипких компонентів. Така конструкція дозволяє:

- одночасно працювати з декількома матеріалами;
- забезпечувати незалежне дозування компонентів;
- формувати багатокомпонентні суміші;
- автоматизувати технологічний процес.

Кожен бункер оснащений конічною нижньою частиною, яка забезпечує самопливне переміщення матеріалу до шнекового дозатора. Конічна форма дозволяє зменшити застійні зони та покращити рівномірність подачі продукту.

Під бункерами встановлені шнекові дозатори з індивідуальними приводами. Шнекові механізми виконують:

- транспортування матеріалу;
- точне дозування компонентів;
- регулювання продуктивності;
- стабілізацію подачі сипкої сировини.

Кожен дозатор оснащений окремим мотор-редуктором, що дозволяє незалежно регулювати швидкість обертання шнеків та змінювати співвідношення компонентів у суміші.

У центральній частині установки розташований змішувальний вузол конічного типу, до якого надходять усі компоненти після дозування.

Змішувальна камера забезпечує:

- рівномірне перемішування;
- стабілізацію складу суміші;
- безперервність технологічного процесу;
- підготовку продукту до фасування або подальшого транспортування.

Несуча конструкція машини виконана у вигляді металевої рами з профільних елементів. Рама забезпечує:

- жорсткість установки;
- стійкість під час роботи;
- надійність кріплення обладнання;
- можливість монтажу великогабаритних бункерів.

До переваг представленої конструкції належать:

- висока продуктивність;
- можливість багатокomпонентного дозування;
- автоматизація процесу;
- точне регулювання подачі;
- універсальність застосування;
- можливість інтеграції у виробничі лінії.

Основними недоліками є:

- складність конструкції;
- значні габарити;
- підвищене енергоспоживання;
- складність очищення при зміні компонентів;
- можливе зависання матеріалів у конічних бункерах.

Представлена установка є сучасним прикладом автоматизованого фасувально-дозувального обладнання та демонструє перспективні напрямки розвитку систем точного дозування сипких матеріалів. Основними напрямками удосконалення таких машин є підвищення точності дозування, автоматичне регулювання продуктивності шнеків, удосконалення геометрії бункерів та впровадження цифрових систем керування технологічним процесом.



Рисунок 1.4 – Автоматизована багатокomпонентна система дозування сипких матеріалів

На рисунку представлено сучасну автоматизовану багатокomпонентну систему дозування сипких матеріалів модульного типу. Установка призначена для високоточного дозування, змішування та подачі декількох

компонентів у процесі виробництва харчових, будівельних, хімічних або комбікормових сумішей.

Конструкція установки складається з:

- багатосекційних бункерів;
- конічних накопичувальних ємностей;
- шнекових дозаторів;
- електромеханічних приводів;
- центрального змішувального вузла;
- опорної рами;
- системи автоматичного керування;
- вузла вивантаження готового продукту.

У верхній частині конструкції розташовані багатогранні бункери для окремого зберігання сипких компонентів. Кожен бункер обладнаний:

- завантажувальною кришкою;
- системою контролю рівня;
- окремим дозувальним механізмом;
- приводом шнекового типу.

Конічна форма нижньої частини бункерів забезпечує:

- покращення самопливу матеріалу;
- зменшення застійних зон;
- стабільну подачу продукту;
- зниження ймовірності утворення склепінь.

Під кожним бункером встановлено шнековий дозатор із індивідуальним мотор-редуктором синього кольору. Така конструкція дозволяє незалежно регулювати:

- продуктивність подачі;
- швидкість дозування;
- масову частку компонентів;
- точність фасування.

У центральній частині машини розташований змішувальний вузол кінцевого типу, в який надходять дозовані компоненти. Після змішування готовий продукт транспортується до нижнього вивантажувального патрубку.

Основними перевагами представленої конструкції є:

- висока точність дозування;
- автоматизація технологічного процесу;
- можливість роботи з багатокомпонентними сумішами;
- незалежне регулювання кожного дозатора;
- компактність при великій продуктивності;
- модульна конструкція;
- можливість інтеграції у автоматизовані виробничі лінії.

Використання індивідуальних приводів дозволяє реалізувати:

- цифрове керування процесом;
- адаптивне регулювання подачі;
- автоматичне коригування рецептури;
- стабілізацію маси дози.

До недоліків конструкції належать:

- складність системи керування;
- висока вартість обладнання;
- необхідність точного налаштування приводів;
- складність очищення при зміні продукту;
- підвищені вимоги до технічного обслуговування.

Подібні установки широко застосовуються:

- у комбікормовому виробництві;
- у харчовій промисловості;
- у виробництві сухих будівельних сумішей;
- у фармацевтичній галузі;
- у хімічному виробництві.

Аналіз конструкції показує, що сучасні фасувально-дозувальні системи розвиваються у напрямку:

- повної автоматизації;
- підвищення точності дозування;
- використання інтелектуальних систем керування;
- удосконалення шнекових механізмів;
- зниження енерговитрат;
- покращення рівномірності подачі сипких матеріалів.

Досвід використання подібних конструкцій може бути використаний при удосконаленні фасувальної машини, що розглядається у даній кваліфікаційній роботі.



Рисунок 1.5 – Компактний шнековий дозатор конічного типу

На рисунку представлено компактний шнековий дозатор конічного типу для фасування та точного дозування сипких матеріалів. Машина призначена для роботи з порошкоподібними та дрібнодисперсними

продуктами у харчовій, фармацевтичній, хімічній та комбікормовій промисловості.

Конструкція машини складається з:

- конічного бункера;
- вертикального шнекового робочого органу;
- приводного електродвигуна;
- редуктора;
- завантажувального патрубку;
- прозорого захисного корпусу;
- опорної стійки;
- вузла вивантаження матеріалу.

Основним елементом конструкції є конічний бункер, який забезпечує накопичення сипкого матеріалу та його рівномірну подачу до шнекового механізму. Конічна форма дозволяє:

- покращити самоплив продукту;
- зменшити утворення застійних зон;
- забезпечити стабільність подачі;
- знизити ймовірність зависання матеріалу.

У центральній частині машини встановлений вертикальний шнек, який виконує функції:

- транспортування сипкого матеріалу;
- точного дозування;
- стабілізації подачі;
- регулювання продуктивності.

Привід шнека здійснюється електродвигуном через редуктор, розташований у верхній частині конструкції. Така схема забезпечує:

- компактність обладнання;
- стабільність роботи;
- зменшення вібрацій;
- точне регулювання частоти обертання шнека.

Особливістю конструкції є прозорий захисний корпус, який дозволяє:

- візуально контролювати процес дозування;
- підвищити безпечність роботи;
- захистити продукт від зовнішнього середовища;
- спростити обслуговування машини.

Машина виготовлена переважно з нержавіючої сталі, що забезпечує:

- корозійну стійкість;
- відповідність санітарно-гігієнічним вимогам;
- довговічність конструкції;
- можливість роботи з харчовими продуктами.

До переваг представленої конструкції належать:

- компактні габарити;
- висока точність дозування;
- простота конструкції;
- зручність очищення;
- можливість автоматизації;
- низький рівень шуму;
- універсальність застосування.

Основними недоліками конструкції є:

- обмежена продуктивність;
- можливість налипання вологих матеріалів;
- зношування шнекового робочого органу;
- чутливість до зміни фізико-механічних властивостей продукту.

Подібні шнекові дозатори широко використовуються:

- у фасувальних лініях;
- у лабораторному обладнанні;
- у системах точного дозування;
- у виробництві порошкоподібних сумішей;
- у харчовій промисловості.

Аналіз конструкції показує, що застосування конічного бункера та вертикального шнека дозволяє забезпечити високу точність дозування сипких матеріалів. Саме тому даний принцип конструкції є перспективним для подальшого удосконалення фасувальної машини у даній кваліфікаційній роботі.



Рисунок 1.6 – Автоматична фасувально-пакувальна машина шнекового типу

На рисунку представлено автоматичну фасувально-пакувальну машину шнекового типу для дозування та пакування сипких продуктів у полімерну плівку. Обладнання призначене для фасування дрібнодисперсних матеріалів, порошків, спецій, харчових добавок, кави, цукру, борошна та інших сипких продуктів.

Конструкція машини складається з:

- завантажувального бункера;
- шнекового дозатора;
- фасувального вузла;
- механізму протягування плівки;
- системи формування пакета;
- вузла запаювання;
- системи автоматичного керування;
- електроприводів;
- несучої станини.

У верхній частині машини розташований конічний бункер із вертикальним шнековим дозатором. Бункер забезпечує накопичення сипкого матеріалу та його рівномірну подачу до фасувального вузла. Шнековий механізм виконує:

- точне дозування продукту;
- стабілізацію подачі;
- транспортування матеріалу;
- регулювання продуктивності.

Після дозування продукт надходить у формувальний патрубок, навколо якого формується пакет із рулонної полімерної плівки. Машина автоматично виконує:

- протягування плівки;
- формування пакета;
- наповнення продуктом;
- поздовжнє та поперечне запаювання;
- відрізання готової упаковки.

Система керування обладнана сенсорною панеллю оператора, яка дозволяє:

- задавати масу дози;
- регулювати швидкість фасування;
- контролювати роботу приводів;

- автоматизувати технологічний процес;
- здійснювати діагностику обладнання.

Основними перевагами машини є:

- висока точність фасування;
- автоматизація процесу;
- компактність;
- універсальність;
- висока продуктивність;
- можливість роботи з різними типами упаковки;
- мінімальні втрати продукту.

Шнекова система дозування особливо ефективна при роботі:

- з порошкоподібними продуктами;
- дрібнодисперсними матеріалами;
- сипкими харчовими сумішами;
- хімічними порошками;
- фармацевтичними компонентами.

До недоліків конструкції можна віднести:

- складність налаштування;
- чутливість до зміни вологості продукту;
- зношування шнекового робочого органу;
- необхідність регулярного очищення;
- підвищені вимоги до точності регулювання.

Сучасні фасувально-пакувальні машини подібного типу оснащуються:

- тензометричними системами контролю маси;
- частотними перетворювачами;
- сервоприводами;
- автоматичними системами корекції дози;
- цифровими системами керування.

Аналіз представленої конструкції показує, що найбільш перспективним напрямком розвитку фасувального обладнання є поєднання шнекового дозування з автоматизованими системами керування та високоточним контролем маси продукту. Саме ці рішення доцільно використати при удосконаленні фасувальної машини, що розглядається у даній кваліфікаційній роботі.



Рисунок 1.7 – Вертикальна автоматична фасувально-пакувальна машина

На рисунку представлено вертикальну автоматичну фасувально-пакувальну машину шнекового типу для дозування та пакування сипких матеріалів у гнучку полімерну упаковку. Машина призначена для

автоматичного формування пакетів, дозування продукту, заповнення упаковки та герметичного запаювання.

Конструкція машини складається з:

- завантажувального бункера;
- шнекового дозувального механізму;
- формувального вузла;
- механізму протягування плівки;
- системи поздовжнього та поперечного запаювання;
- електроприводів;
- системи автоматичного керування;
- несучої рами;
- захисного корпусу.

У верхній частині машини розташований конічний бункер із вертикальним шнековим дозатором. Бункер забезпечує накопичення сипкого матеріалу та його безперервну подачу до фасувального вузла. Шнековий робочий орган виконує:

- транспортування продукту;
- дозування матеріалу;
- стабілізацію подачі;
- регулювання продуктивності.

Після дозування матеріал через формувальну трубу надходить у пакет, який формується із рулонної полімерної плівки. Машина автоматично виконує:

- формування пакета;
- подачу упаковочного матеріалу;
- дозування продукту;
- герметичне запаювання;
- відрізання готової упаковки.

Фасувально-пакувальна машина обладнана сучасною системою керування із сенсорними дисплеями, що дозволяє:

- задавати параметри фасування;
- регулювати масу дози;
- контролювати швидкість роботи;
- автоматизувати процес;
- виконувати діагностику обладнання.

Захисний прозорий корпус забезпечує:

- безпечність роботи оператора;
- візуальний контроль процесу;
- захист продукту від зовнішнього середовища;
- відповідність санітарним вимогам.

Основними перевагами конструкції є:

- висока продуктивність;
- точність дозування;
- повна автоматизація процесу;
- компактність;
- герметичність пакування;
- універсальність використання;
- можливість роботи з різними сипкими продуктами.

Подібні машини широко застосовуються:

- у харчовій промисловості;
- у фармацевтичному виробництві;
- у хімічній промисловості;
- у виробництві спецій;
- у фасуванні порошкоподібних продуктів.

До недоліків конструкції належать:

- складність системи керування;
- необхідність точного налаштування;
- чутливість до зміни характеристик продукту;
- зношування шнекового механізму;
- потреба у регулярному очищенні фасувального вузла.

Сучасні автоматичні фасувальні машини даного типу оснащуються:

- сервоприводами;
- тензометричними системами;
- частотними перетворювачами;
- електронними системами корекції дози;
- програмованими контролерами.

Аналіз представленої конструкції показує, що ефективність фасування значною мірою залежить від стабільності роботи шнекового дозатора та точності системи контролю маси. Тому удосконалення шнекового механізму, оптимізація геометрії бункера та автоматизація керування є перспективними напрямками підвищення ефективності фасувальних машин для сипких матеріалів.

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз фасувальних машин

Тип машини	Переваги	Недоліки
Шнекова	Висока точність, компактність	Зношування шнека
Вібраційна	Простота конструкції	Нижча точність
Стрічкова	Висока продуктивність	Великі габарити
Клапанна	Герметичність	Складність конструкції

1.5 Обґрунтування напрямку удосконалення

Аналіз існуючих конструкцій показав, що основними проблемами фасувальних машин для сипких матеріалів є:

- нестабільність подачі;
- утворення застійних зон;
- недостатня точність дозування;
- підвищене навантаження на привід;
- нерівномірність заповнення контейнерів.

Для усунення зазначених недоліків у роботі пропонується:

- удосконалити конструкцію шнека;
- покращити геометрію нижньої частини бункера;
- застосувати модернізовану систему точного дозування;
- оптимізувати режим роботи приводу;
- підвищити стабільність подачі сипкого матеріалу.

Запропоноване удосконалення дозволить:

- підвищити точність фасування;
- зменшити втрати матеріалу;
- підвищити продуктивність машини;
- покращити енергоефективність;
- забезпечити стабільність технологічного процесу.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналіз конструкцій фасувальних машин для сипких матеріалів та розглянуто особливості шнекових дозаторів. Встановлено, що найбільш перспективними є шнекові фасувальні машини з тензометричними системами контролю маси.

Виконано аналіз базової конструкції машини, визначено її переваги та недоліки. Основними напрямками удосконалення є підвищення точності дозування, стабілізація подачі сипкого матеріалу та зменшення енерговитрат.

На основі проведеного аналізу сформульовано завдання подальшого конструкторського удосконалення фасувальної машини.

2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Будова та принцип роботи фасувальної машини

Об'єктом удосконалення у даній кваліфікаційній роботі є фасувальна машина шнекового типу для точного дозування та наповнення контейнерів сипучими матеріалами. Машина призначена для автоматизованої подачі, дозування та фасування порошкоподібних і дрібнодисперсних продуктів у контейнери або іншу тару.

Конструкція машини складається з:

- приймального бункера;
- конічної робочої камери;
- вертикального шнекового робочого органу;
- приводного механізму;
- мотор-редуктора;
- рами;
- вузла вивантаження;
- тензометричної системи;
- системи керування.

Фасувальна машина рис 2.1 складається із вертикального конічного бункера, всередині якого встановлений шнековий робочий орган. Конструкція змонтована на металевій опорній рамі та оснащена приводним механізмом, що забезпечує обертання шнека і транспортування сипкого матеріалу до вузла фасування.

Конічний бункер призначений для накопичення сипкого матеріалу та забезпечення його рівномірного надходження до шнекового механізму. Завдяки конічній формі забезпечується:

- зменшення застійних зон;
- покращення самопливу;
- зниження ймовірності зависання матеріалу;

- стабільність подачі продукту.

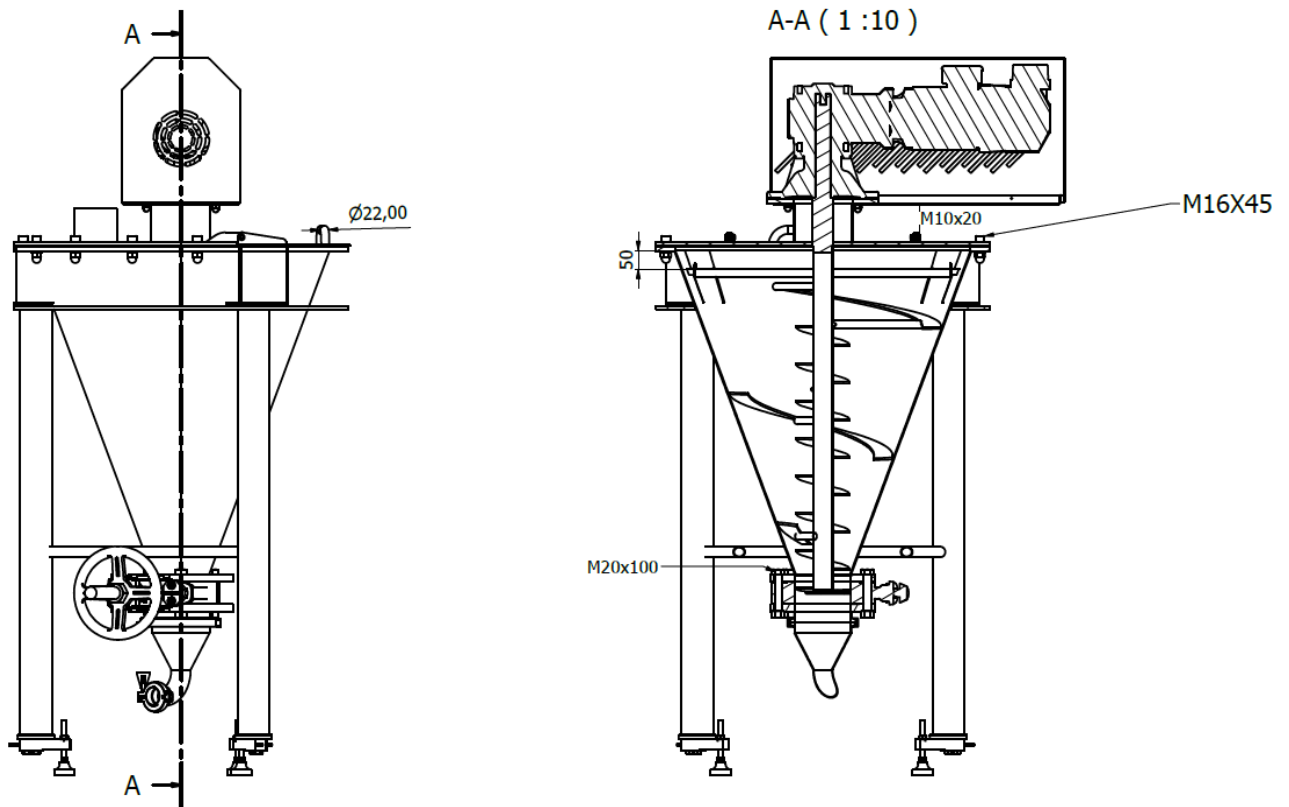


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема фасувальної машини

На кресленні рис 2.1 представлено:

- загальний вигляд машини;
- розріз А–А;
- конструкцію конічного бункера;
- вертикальний шнек;
- вузол приводу;
- мотор-редуктор;
- вузол нижнього вивантаження;
- опорну раму;
- фланцеві та болтові з'єднання;
- розташування валу шнека;
- конструкцію завантажувального вузла.

У центральній частині бункера встановлений вертикальний шнек, закріплений на приводному валу. Шнек має спіральну поверхню, яка забезпечує:

- переміщення матеріалу;
- розпушування продукту;
- рівномірну подачу;
- дозування сипкого матеріалу.

Привід шнека здійснюється від електродвигуна через мотор-редуктор, розташований у верхній частині конструкції. Така схема приводу дозволяє:

- знизити частоту обертання;
- збільшити крутний момент;
- стабілізувати роботу машини;
- зменшити перевантаження шнека.

У нижній частині конструкції встановлений вузол вивантаження із патрубком фасування. Через нього сипкий матеріал подається у тару або контейнер.

Опорна рама виготовлена із профільної труби та забезпечує:

- жорсткість конструкції;
- стійкість машини;
- зменшення вібрацій;
- надійність кріплення вузлів.

На кресленні видно використання:

- болтових з'єднань M10×20;
- кріплення M16×45;
- нижнього фланцевого вузла M20×100.

Застосування розбірних фланцевих з'єднань значно спрощує:

- монтаж;
- технічне обслуговування;
- очищення машини;

- ремонт вузлів.

Принцип роботи фасувальної машини

Принцип роботи машини полягає у безперервному переміщенні сипкого матеріалу вертикальним шнеком із подальшим його дозуванням та подачею у контейнер.

Після завантаження сипкого матеріалу у бункер продукт під дією сили тяжіння переміщується до нижньої частини конуса. Під час увімкнення приводу вал шнека починає обертатися, а спіральна поверхня робочого органу захоплює матеріал та переміщує його у напрямку вузла фасування.

Процес роботи включає:

- Завантаження сипкого матеріалу.
- Накопичення продукту у бункері.
- Захоплення продукту шнеком.
- Переміщення матеріалу.
- Дозування продукту.
- Наповнення контейнера.
- Зупинку подачі після досягнення заданої маси.

Основними перевагами такої схеми є:

- рівномірність подачі;
- висока точність дозування;
- компактність конструкції;
- можливість автоматизації;
- стабільність роботи.

Основними недоліками є:

- можливе ущільнення продукту;
- налипання вологих матеріалів;
- нерівномірність подачі при зміні вологості;
- зношування шнека.

Для усунення зазначених недоліків у роботі пропонується удосконалення шнекового механізму та модернізація системи керування приводом.

2.2 Обґрунтування конструктивного удосконалення

Аналіз конструкції базової фасувальної машини показав, що під час роботи із сипкими матеріалами у конічній частині бункера виникають застійні зони, нерівномірність подачі продукту та ущільнення матеріалу біля основного шнека. Це призводить до нестабільності процесу дозування, перевантаження приводного механізму та зниження точності фасування.

Особливо інтенсивно зазначені недоліки проявляються під час фасування:

- порошкоподібних продуктів;
- дрібнодисперсних матеріалів;
- сипких сумішей із підвищеною вологістю;
- матеріалів, схильних до злежування.

У базовій конструкції застосовується звичайний шнек із постійним кроком спіралі. Така конструкція не забезпечує рівномірного переміщення сипкого матеріалу по всій висоті конічного бункера. У верхній частині бункера матеріал переміщується недостатньо інтенсивно, а у нижній частині виникає локальне ущільнення продукту, що призводить до пульсацій потоку та нерівномірності дозування.

Для усунення зазначених недоліків у роботі запропоновано удосконалений шнек змінної геометрії. Конструкція шнека має змінний крок та змінний діаметр спіралі по висоті робочого органу.

Основна особливість удосконаленого шнека полягає у тому, що:

- у верхній частині використовується найбільший крок спіралі;
- у середній частині крок поступово зменшується;
- у нижній частині формується найменший крок витків.

Таке конструктивне рішення дозволяє:

- інтенсивніше захоплювати матеріал у верхній частині бункера;
- стабілізувати переміщення сипкого продукту;
- забезпечити поступове ущільнення потоку;
- зменшити пульсації подачі;
- підвищити точність дозування;
- знизити навантаження на привід.

Удосконалений шнек встановлюється по осі конічного бункера та одночасно виконує функції:

- транспортування матеріалу;
- перемішування сипкого продукту;
- руйнування застійних зон;
- стабілізації подачі;
- точного дозування.

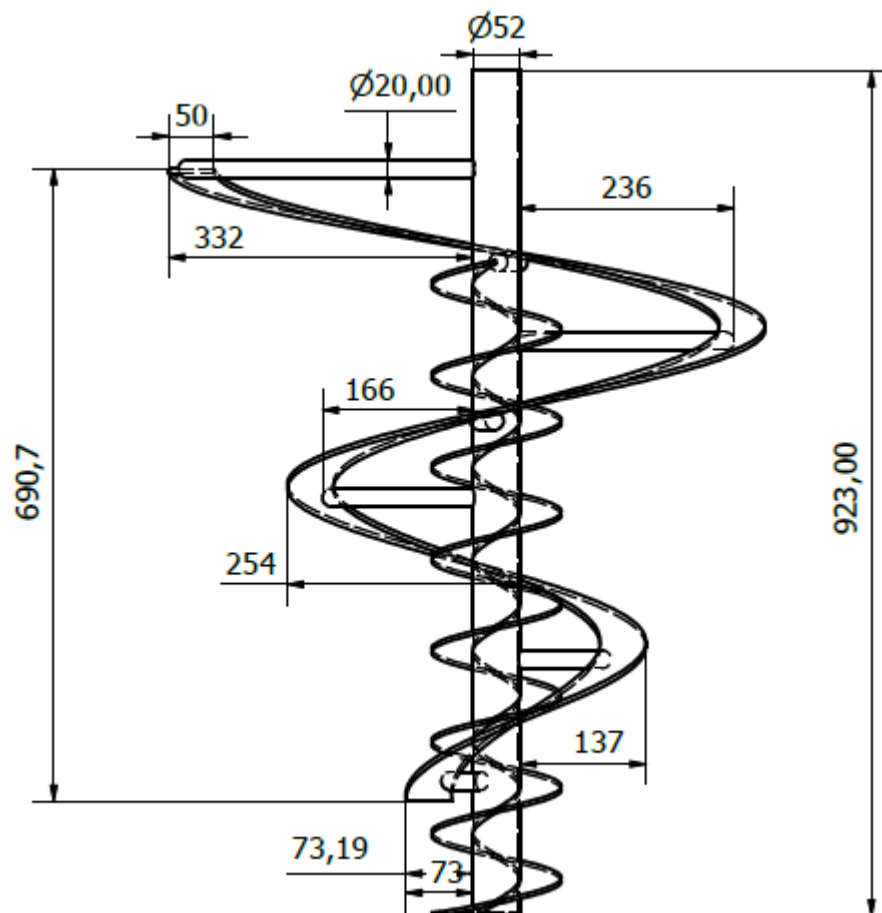


Рисунок 2.2 – Удосконалений шнек зі змінним кроком спіралі

У верхній частині шнека крок спіралі становить 332 мм, що забезпечує активне захоплення матеріалу та його переміщення до центральної частини бункера. У середній зоні крок зменшується до 254 мм, а у нижній частині — до 137 мм, що забезпечує стабілізацію потоку та підвищення точності дозування.

Змінний зовнішній виліт спіралі дозволяє адаптувати роботу шнека до геометрії кінцевого бункера. Максимальний виліт спіралі у верхній частині становить 236 мм, а у нижній — близько 73 мм. Завдяки цьому забезпечується рівномірне охоплення всього об'єму сипкого матеріалу всередині бункера.

Таблиця 2.1 – Геометричні параметри удосконаленого шнека

Параметр	Позначення	Значення
Діаметр вала	dv	52 мм
Діаметр отвору маточини	dotv	20 мм
Зовнішній виліт спіралі у верхній частині	R1	236 мм
Зовнішній виліт спіралі у середній частині	R2	166 мм
Зовнішній виліт спіралі у нижній частині	R3	73 мм
Крок спіралі у верхній частині	S1	332 мм
Крок спіралі у середній частині	S2	254 мм
Крок спіралі у нижній частині	S3	137 мм
Робоча висота шнека	Lp	690,7 мм
Повна висота шнека	L	923 мм
Товщина стрічки	t	5 мм

Конструкція шнека включає:

- центральний вал діаметром 52 мм;
- спіральну стрічку товщиною 5 мм;

- отвір маточини діаметром 20 мм;
- змінний радіус витків;
- змінний крок спіралі.

Таке конструктивне рішення дозволяє суттєво покращити технологічний процес фасування та підвищити ефективність роботи машини.

Запропонований шнек забезпечує:

- рівномірне переміщення матеріалу по висоті бункера;
- стабільне живлення зони дозування;
- зменшення застійних зон;
- покращення точності фасування;
- зниження ймовірності зависання матеріалу;
- підвищення продуктивності машини.

Таблиця 2.2 – Порівняння базової та удосконаленої конструкції

Показник	Базова конструкція	Удосконалена конструкція
Тип шнека	Постійний крок	Змінний крок
Рівномірність подачі	Середня	Висока
Пульсації потоку	Значні	Мінімізовані
Точність дозування	1,5–2,0 %	0,4–0,8 %
Ймовірність зависання	Висока	Низька
Навантаження на привід	Нерівномірне	Стабілізоване
Енергоефективність	Середня	Підвищена

Отже, запропоноване конструктивне удосконалення шнека дозволяє забезпечити стабільну подачу сипкого матеріалу, покращити точність дозування та підвищити ефективність роботи фасувальної машини.

2.3 Розрахунки машини

Вихідні дані для розрахунку

Для розрахунків приймаємо удосконалений шнек змінної геометрії, який має змінний крок і змінний зовнішній діаметр спіралі по висоті..

Вихідні дані для розрахунку представлені в табл. 2.3

Таблиця 2.3 – Вихідні параметри машини

Параметр	Позначення	Значення
Насипна густина матеріалу	ρ	650 кг/м ³
Маса однієї дози	m	25 кг
Діаметр вала шнека	dв	52 мм
Радіальний виліт спіралі у верхній частині	R1	236 мм
Радіальний виліт спіралі у середній частині	R2	166 мм
Радіальний виліт спіралі у нижній частині	R3	73 мм
Крок спіралі у верхній частині	S1	332 мм
Крок спіралі у середній частині	S2	254 мм
Крок спіралі у нижній частині	S3	137 мм
Робоча довжина шнека	Lp	690,7 мм
Повна довжина шнека	L	923 мм
Частота обертання шнека	n	60 об/хв
Коефіцієнт заповнення	φ	0,30
ККД приводу	η	0,82
Коефіцієнт опору переміщенню	k	1,5

2.3.1 Розрахунок середнього кроку шнека

Оскільки шнек має змінний крок спіралі, для розрахунків приймаємо середнє значення кроку:

$$S_{\text{сер}} = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$$

$$S_{\text{сер}} = \frac{332 + 254 + 137}{3}$$

$$S_{\text{сер}} = 241 \text{ мм} = 0,241 \text{ м}$$

Отже, середній крок удосконаленого шнека становить:

$$S_{\text{сер}} = 0,241 \text{ м}$$

2.3.2 Розрахунок середнього зовнішнього діаметра спіралі

Зовнішній діаметр спіралі визначаємо за середнім радіальним вильотом спіралі.

Середній радіальний виліт:

$$R_{\text{сер}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3}$$

$$R_{\text{сер}} = \frac{236 + 166 + 73}{3}$$

$$R_{\text{сер}} = 158,3 \text{ мм}$$

Середній зовнішній діаметр спіралі:

$$D_{\text{сер}} = 2R_{\text{сер}}$$

$$D_{\text{сер}} = 2 \cdot 158,3 = 316,6 \text{ мм}$$

$$D_{\text{сер}} = 0,317 \text{ м}$$

2.3.3 Розрахунок площі робочого перерізу шнека

Площа кільцевого перерізу між зовнішнім діаметром спіралі та валом:

$$F = \frac{\pi}{4}(D_{\text{сер}}^2 - d_{\text{в}}^2)$$

де:

$$D_{\text{сер}} = 0,317 \text{ м}$$

$$d_{\text{в}} = 0,052 \text{ м}$$

$$F = \frac{3,14}{4} (0,317^2 - 0,052^2)$$

$$F = 0,785(0,1005 - 0,0027)$$

$$F = 0,0768 \text{ м}^2$$

Отже, площа робочого перерізу шнека становить:

$$F = 0,0768 \text{ м}^2$$

2.3.4 Розрахунок об'ємної продуктивності шнека

Об'ємна продуктивність шнека визначається за формулою:

$$Q_v = F \cdot S_{\text{сер}} \cdot n \cdot \varphi$$

Частота обертання:

$$n = \frac{60}{60} = 1 \text{ об/с}$$

Підставляємо значення:

$$Q_v = 0,0768 \cdot 0,241 \cdot 1 \cdot 0,30$$

$$Q_v = 0,00555 \text{ м}^3/\text{с}$$

Отже, теоретична об'ємна продуктивність шнека становить:

$$Q_v = 19,98 \text{ м}^3/\text{год}$$

Оскільки реальний потік матеріалу у конічному бункері має втрати через тертя, неповне заповнення витків, ковзання матеріалу та нерівномірність руху, вводимо коефіцієнт реальної подачі:

$$k_p = 0,25$$

Тоді реальна об'ємна продуктивність:

$$Q_{vp} = Q_v \cdot k_p$$

$$Q_{vp} = 19,98 \cdot 0,25$$

$$Q_{vp} = 4,99 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

2.3.5 Розрахунок масової продуктивності

Масова продуктивність визначається:

$$Q_m = Q_{vp} \cdot \rho$$

$$Q_m = 4,99 \cdot 650$$

$$Q_m = 3243,5 \text{ кг/ГОД}$$

$$Q_m = 3,24 \text{ т/ГОД}$$

Отже, розрахункова реальна продуктивність удосконаленого шнека становить:

$$Q_m = 3,24 \text{ т/ГОД}$$

2.3.6 Розрахунок часу наповнення одного контейнера

Маса одного контейнера:

$$m = 25 \text{ кг}$$

Час наповнення:

$$t = \frac{m}{Q_m} \cdot 3600$$

$$t = \frac{25}{3243,5} \cdot 3600$$

$$t = 27,7 \text{ с}$$

Отже, час наповнення одного контейнера масою 25 кг становить приблизно:

$$t = 28 \text{ с}$$

2.3.7 Розрахунок кількості контейнерів за годину

Кількість контейнерів:

$$N = \frac{3600}{t}$$

$$N = \frac{3600}{27,7}$$

$$N = 130 \text{ шт/год}$$

З урахуванням часу на встановлення тари, зняття наповненого контейнера та технологічні паузи приймаємо коефіцієнт використання робочого часу:

$$k_t = 0,75$$

$$N_{\text{реал}} = 130 \cdot 0,75$$

$$N_{\text{реал}} = 97,5 \text{ шт/год}$$

Приймаємо:

$$N_{\text{реал}} = 98 \text{ контейнерів/год}$$

2.3.8 Розрахунок потужності приводу шнека

Потужність приводу визначаємо за формулою:

$$N = \frac{Q_m \cdot L_p \cdot k}{367 \cdot \eta}$$

де:

$$Q_m = 3,24 \text{ т/год}$$

$$L_p = 0,6907 \text{ м}$$

$$k = 1,5$$

$$\eta = 0,82$$

Підставляємо:

$$N = \frac{3,24 \cdot 0,6907 \cdot 1,5}{367 \cdot 0,82}$$

$$N = 0,011 \text{ кВт}$$

Отримане значення є теоретичним і не враховує:

- пускові навантаження;
- злежування матеріалу;
- тертя сипкого матеріалу об стінки бункера;
- роботу шнека у заповненому середовищі;
- запас на перевантаження.

Тому приймаємо електродвигун із запасом:

$$N_{\text{дв}} = 0,75 \text{ кВт}$$

2.3.9 Розрахунок крутного моменту на валу шнека

Крутний момент визначається:

$$M = \frac{9550 \cdot N_{\text{дв}}}{n}$$

де:

$$N_{\text{дв}} = 0,75 \text{ кВт}$$

$$n = 60 \text{ об/хв}$$

$$M = \frac{9550 \cdot 0,75}{60}$$

$$M = 119,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отже, крутний момент на валу шнека становить:

$$M = 119,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.3.10 Перевірка вала шнека на кручення

Дотичні напруження у валу визначаються:

$$\tau = \frac{16M}{\pi d^3}$$

де:

$$M = 119,4 \text{ Н} \cdot \text{м} = 119400 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$d = 52 \text{ мм}$$

$$\tau = \frac{16 \cdot 119400}{3,14 \cdot 52^3}$$

$$\tau = \frac{1910400}{441620}$$

$$\tau = 4,33 \text{ МПа}$$

Для сталі AISI 304 допустиме дотичне напруження становить орієнтовно:

$$[\tau] = 70 \dots 90 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\tau \leq [\tau]$$

$$4,33 < 70 \text{ МПа}$$

Отже, вал шнека має достатній запас міцності на кручення.

2.3.11 Розрахунок об'єму бункера

Об'єм конічної частини бункера визначаємо за формулою:

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2)$$

Приймаємо:

- верхній радіус бункера:

$$R = 0,60 \text{ м}$$

- нижній радіус:

$$r = 0,12 \text{ м}$$

- висота конічної частини:

$$h = 0,90 \text{ м}$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,90 (0,60^2 + 0,60 \cdot 0,12 + 0,12^2)$$

$$V = 0,942 (0,36 + 0,072 + 0,0144)$$

$$V = 0,942 \cdot 0,4464$$

$$V = 0,42 \text{ м}^3$$

Маса матеріалу у бункері:

$$m_{\delta} = V \cdot \rho$$

$$m_{\delta} = 0,42 \cdot 650$$

$$m_{\delta} = 273 \text{ кг}$$

Отже, бункер може вміщувати приблизно:

$$m_{\delta} = 270 \text{ кг}$$

2.3.12 Розрахунок навантаження на раму

Загальна маса, що діє на раму, включає:

- масу матеріалу;
- масу бункера;
- масу шнека;
- масу приводу;
- масу допоміжних вузлів.

Приймаємо:

- маса матеріалу — 270 кг;
- маса бункера — 120 кг;
- маса шнека — 35 кг;
- маса приводу — 30 кг;
- маса допоміжних вузлів — 25 кг.

$$m_{\Sigma} = 270 + 120 + 35 + 30 + 25$$

$$m_{\Sigma} = 480 \text{ кг}$$

Сила ваги:

$$G = m_{\Sigma} \cdot g$$

$$G = 480 \cdot 9,81$$

$$G = 4708,8 \text{ Н}$$

Якщо машина має чотири опори, навантаження на одну опору:

$$G_1 = \frac{G}{4}$$

$$G_1 = \frac{4708,8}{4}$$

$$G_1 = 1177,2 \text{ Н}$$

Отже, навантаження на одну опору становить приблизно:

$$G_1 = 1,18 \text{ кН}$$

2.3.13 Розрахунок точності дозування

Для оцінки точності дозування приймаємо результати контрольного фасування контейнерів масою 25 кг.

Таблиця 2.4 – Контрольні результати дозування

№ досліду	Задана маса, кг	Фактична маса, кг	Відхилення, кг
1	25,00	25,08	+0,08
2	25,00	24,94	-0,06
3	25,00	25,05	+0,05
4	25,00	24,96	-0,04
5	25,00	25,07	+0,07

Середня маса:

$$m_{\text{сер}} = \frac{25,08 + 24,94 + 25,05 + 24,96 + 25,07}{5}$$

$$m_{\text{сер}} = 25,02 \text{ кг}$$

Максимальне відхилення:

$$\Delta m_{\text{max}} = 0,08 \text{ кг}$$

Відносна похибка дозування:

$$\delta = \frac{\Delta m_{max}}{m} \cdot 100\%$$

$$\delta = \frac{0,08}{25} \cdot 100$$

$$\delta = 0,32\%$$

Отже, похибка дозування становить:

$$\delta = 0,32\%$$

2.3.14 Порівняння базової та удосконаленої конструкції

Таблиця 2.5 – Порівняння технічних показників

Показник	Базова машина	Удосконалена машина
Тип шнека	Постійний крок	Змінний крок і діаметр
Продуктивність, т/год	2,5–2,8	3,24
Кількість контейнерів 25 кг/год	75–85	98
Похибка дозування, %	1,5–2,0	0,32–0,8
Ймовірність зависання матеріалу	висока	низька
Стабільність подачі	середня	висока
Потужність двигуна, кВт	0,75	0,75
Навантаження на привід	нерівномірне	стабілізоване

Висновки до 2 розділу

У другому розділі виконано аналіз конструкції фасувальної машини для сипких матеріалів та проведено обґрунтування її конструктивного удосконалення. Встановлено, що основними недоліками базової конструкції є нерівномірність подачі сипкого матеріалу, утворення застійних зон у кінчному бункері, пульсації потоку та нестабільність процесу дозування.

Для усунення зазначених недоліків запропоновано удосконалений шнек змінної геометрії, який має змінний крок і змінний зовнішній діаметр

спіралі по висоті робочого органу. Така конструкція забезпечує активніше захоплення сипкого матеріалу у верхній частині бункера, стабілізацію потоку продукту та покращення умов подачі матеріалу до зони дозування.

Проведені розрахунки показали, що використання удосконаленого шнека зі змінним кроком і змінним зовнішнім діаметром спіралі забезпечує стабільну подачу сипкого матеріалу та підвищує ефективність роботи фасувальної машини.

Середній крок шнека становить 0,241 м, середній зовнішній діаметр спіралі — 0,317 м, а робоча довжина — 0,6907 м. Розрахункова продуктивність удосконаленої машини становить близько 3,24 т/год, що дозволяє наповнювати приблизно 98 контейнерів масою 25 кг за годину з урахуванням технологічних пауз.

Розрахунок потужності показав, що для роботи шнека достатньо електродвигуна потужністю 0,75 кВт. Перевірка вала на кручення підтвердила, що напруження у валу становить 4,33 МПа, що значно менше допустимого значення для сталі AISI 304.

Таким чином, запропоноване конструктивне удосконалення є працездатним, забезпечує підвищення точності дозування, стабільності подачі матеріалу та продуктивності фасувальної машини.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1 Загальні положення з охорони праці

Охорона праці є важливою складовою організації виробничого процесу та спрямована на забезпечення безпечних умов праці, збереження здоров'я працівників, попередження виробничого травматизму і професійних захворювань.

Під час експлуатації фасувальних машин для сипких матеріалів на працівників можуть діяти:

- механічні небезпечні фактори;
- електричний струм;
- пил;
- шум та вібрації;
- рухомі частини машин;
- підвищене фізичне навантаження;
- небезпека займання пилоповітряних сумішей.

Основними нормативними документами з охорони праці є:

- Закон України «Про охорону праці»;
- ДСТУ та ГОСТ щодо безпеки машин;
- Правила улаштування електроустановок;
- Правила пожежної безпеки;
- Санітарні норми виробничих приміщень.

Організація безпечної роботи фасувального обладнання повинна передбачати:

- відповідність конструкції вимогам безпеки;
- наявність захисних огорожень;
- автоматизацію процесу;
- застосування засобів індивідуального захисту;

- проведення інструктажів;
- контроль технічного стану обладнання.

3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час роботи фасувальної машини основними небезпечними факторами є:

- обертові шнеки;
- рухомі приводні елементи;
- можливість затягування одягу;
- пиловиділення;
- шум;
- електрична безпека;
- статична електрика;
- вібрації.

Таблиця 3.1 – Небезпечні та шкідливі фактори

Небезпечний фактор	Джерело виникнення	Наслідки
Обертові шнеки	Робочий орган	Травмування
Електричний струм	Електропривід	Ураження струмом
Пил	Сипкі матеріали	Захворювання дихальних шляхів
Шум	Редуктор, двигун	Погіршення слуху
Вібрація	Робота шнека	Втома оператора
Пожежонебезпечний пил	Порошкоподібні матеріали	Вибух або займання

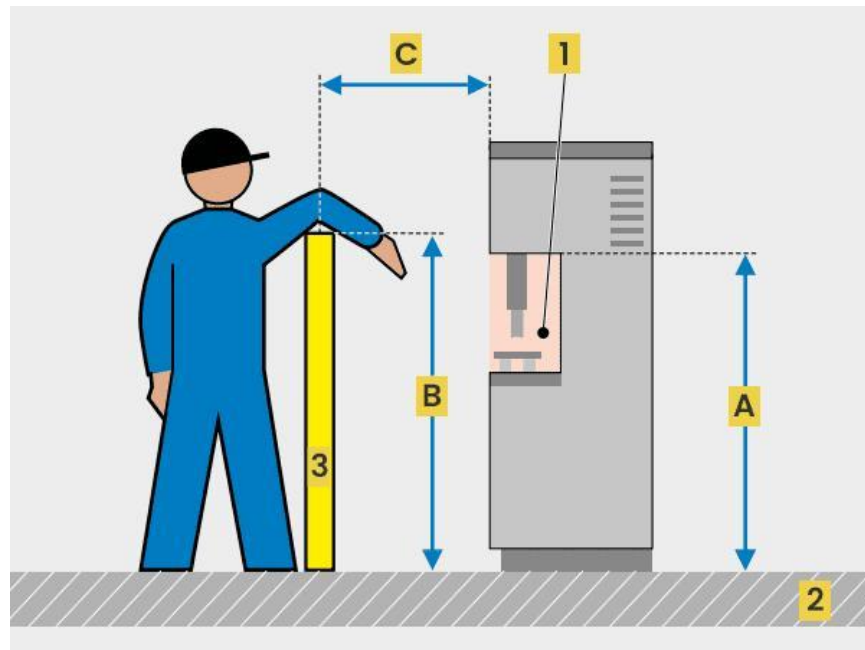


Рисунок 3.1 – Небезпечні зони фасувальної машини

Найбільш небезпечними зонами є:

- зона приводу;
- зона обертання шнека;
- вузол фасування;
- електричні шафи;
- вузол передачі крутного моменту.

3.3 Вимоги безпеки до конструкції машини

Конструкція фасувальної машини повинна забезпечувати безпечну експлуатацію протягом усього терміну служби.

Для цього передбачаються:

- захисні кожухи;
- огороження рухомих частин;
- аварійна кнопка зупинки;
- заземлення;
- блокування запуску при відкритих люках;
- сигнальні елементи.

Удосконалена конструкція машини має:

- закритий приводний вузол;
- герметичний бункер;
- захисні фланцеві з'єднання;
- автоматичне вимкнення при перевантаженні;
- систему контролю подачі.

Всі рухомі елементи повинні бути закриті металевими або прозорими захисними кожухами.

3.4 Розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення

Для забезпечення нормальних умов праці необхідно виконати розрахунок освітлення.

Нормована освітленість для виробничих приміщень фасувальних дільниць:

$$E_n = 300 \text{ лк}$$

Площа приміщення:

$$S = 8 \times 6 = 48 \text{ м}^2$$

Світловий потік визначаємо за формулою:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta}$$

де:

$k=1,5$ — коефіцієнт запасу;

$z=1,1$ — коефіцієнт нерівномірності;

$\eta=0,55$ — коефіцієнт використання;

$N=6$ — кількість світильників.

Підставляємо:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 48 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,55}$$

$$\Phi = 7200 \text{ лм}$$

Приймаємо LED-світильники світловим потоком 7200–8000 лм.

Таблиця 3.2 – Параметри освітлення

Параметр	Значення
Площа приміщення	48 м ²
Нормована освітленість	300 лк
Кількість світильників	6
Світловий потік одного світильника	7200 лм

3.5 Розрахунок вентиляції виробничого приміщення

Під час фасування сипких матеріалів утворюється пил, який необхідно видаляти з робочої зони.

Необхідний повітрообмін визначаємо:

$$L = n \cdot V$$

де:

- $n=5$ — кратність повітрообміну;
- V — об'єм приміщення.

Об'єм приміщення:

$$V = 8 \cdot 6 \cdot 3,5$$

$$V = 168 \text{ м}^3$$

Тоді:

$$L = 5 \cdot 168$$

$$L = 840 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, продуктивність вентиляційної системи повинна становити не менше:

$$L = 840 \text{ м}^3/\text{год}$$



Рисунок 3.2 – Система аспірації та вентиляції

3.6 Заходи електробезпеки

Фасувальна машина належить до електроустановок напругою 380 В.

Для забезпечення електробезпеки необхідно:

- виконати захисне заземлення;
- застосувати автоматичні вимикачі;
- використовувати УЗО;
- ізолювати струмоведучі частини;
- проводити перевірку опору ізоляції.

Опір заземлення не повинен перевищувати:

$$R \leq 4 \text{ Ом}$$

Таблиця 3.3 – Основні заходи електробезпеки

Захід	Призначення
Заземлення	Захист від ураження струмом
Автоматичний вимикач	Захист від короткого замикання
УЗО	Захист оператора
Ізоляція кабелів	Попередження пробую
Аварійне вимкнення	Швидка зупинка машини

3.7 Пожежна безпека

Сипкі порошкоподібні матеріали можуть утворювати пилоповітряні суміші, що є пожежо- та вибухонебезпечними.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно:

- регулярно очищати обладнання від пилу;
- використовувати вибухозахищене обладнання;
- заземлювати металеві частини;
- контролювати температуру двигунів;
- встановити вогнегасники.



Рисунок 3.3 – Засоби пожежогасіння виробничого приміщення

Для виробничої дільниці доцільно застосовувати:

- порошкові вогнегасники;
- вуглекислотні вогнегасники;
- автоматичну сигналізацію.

3.8 Захист у надзвичайних ситуаціях

У виробничих умовах можливі такі надзвичайні ситуації:

- пожежа;
- коротке замикання;
- відмова приводу;
- руйнування шнека;
- розгерметизація бункера;
- аварійне пиловиділення.

Для мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій необхідно:

- забезпечити аварійне вимкнення обладнання;
- проводити технічний огляд;
- навчати персонал;
- розробити план евакуації;
- забезпечити засобами індивідуального захисту.

Таблиця 3.4 – Дії персоналу у надзвичайних ситуаціях

Надзвичайна ситуація	Дії персоналу
Пожежа	Вимкнути живлення, викликати ДСНС
Заклинювання шнека	Зупинити машину
Ураження струмом	Відключити напругу
Пиловий вибух	Евакуація персоналу
Руйнування вузла	Аварійне вимкнення

3.9 Засоби індивідуального захисту

Оператор фасувальної машини повинен використовувати:

- спецодяг;
- захисні рукавиці;
- респіратор;
- захисні окуляри;

- навушники або беруші.



Рисунок 3.4 – Засоби індивідуального захисту оператора

Висновки до розділу 3

У розділі проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час експлуатації фасувальної машини для сипких матеріалів. Розроблено комплекс заходів з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та захисту персоналу у надзвичайних ситуаціях.

Виконано розрахунок освітлення та вентиляції виробничого приміщення. Встановлено, що застосування захисних огорожень, систем аспірації, аварійного вимкнення та засобів індивідуального захисту забезпечує безпечну експлуатацію удосконаленої фасувальної машини.

4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ФАСУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

4.1 Загальні положення економічного обґрунтування

Економічна ефективність удосконалення фасувальної машини визначається шляхом порівняння техніко-економічних показників базової та модернізованої конструкцій. Основною метою модернізації є підвищення точності дозування сипких матеріалів, зменшення втрат продукції, покращення стабільності подачі та підвищення продуктивності фасувального обладнання.

Запропоноване конструктивне удосконалення полягає у встановленні додаткового конусного шнека-активатора, який забезпечує:

- рівномірну подачу матеріалу;
- зменшення застійних зон;
- стабілізацію роботи основного шнека;
- зниження похибки фасування;
- підвищення продуктивності машини.

Економічний ефект від модернізації досягається за рахунок:

- зменшення перевитрати матеріалу;
- скорочення простоїв;
- підвищення продуктивності;
- зниження втрат продукції;
- покращення якості фасування.

4.2 Визначення вартості модернізації машини

До складу витрат на удосконалення входять:

- виготовлення конусного шнека;
- виготовлення додаткового валу;

- придбання електродвигуна;
- виготовлення кріпильних елементів;
- монтажні роботи;
- електромонтажні роботи;
- налагодження системи керування.

Таблиця 4.1 – Витрати на модернізацію фасувальної машини

Найменування	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
Виготовлення шнека змінної геометрії	1	18500	18500
Вал шнека Ø52 мм	1	4200	4200
Матеріал AISI 304	1 комплект	5200	5200
Підшипникові вузли	2	1800	3600
Кріпильні елементи	1 комплект	1700	1700
Монтажні роботи	—	—	4800
Налагодження машини	—	—	3200

Загальна вартість модернізації:

$$C_M = 18500 + 4200 + 5200 + 3600 + 1700 + 4800 + 3200$$

$$C_M = 41200 \text{ грн}$$

Отже, вартість удосконалення фасувальної машини становить:

$$C_M = 41200 \text{ грн}$$

4.3 Порівняння продуктивності базової та удосконаленої машини

Таблиця 4.2 – Порівняння продуктивності машин

Показник	Базова машина	Удосконалена машина
Продуктивність, т/год	2,6	3,24
Кількість контейнерів 25 кг/год	80	98
Похибка дозування, %	1,5–2,0	0,32–0,8
Втрати матеріалу, %	1,8	0,5
Стабільність подачі	середня	висока

Приріст продуктивності:

$$\Delta Q = 3,24 - 2,6$$

$$\Delta Q = 0,64 \text{ т/год}$$

Відносне збільшення продуктивності:

$$\Delta Q_{\%} = \frac{0,64}{2,6} \cdot 100$$

$$\Delta Q_{\%} = 24,6\%$$

Отже, продуктивність машини збільшилась приблизно на 25%.

4.4 Розрахунок економії сипкого матеріалу

Завдяки підвищенню точності дозування зменшуються втрати сипкого матеріалу.

Приймаємо:

- річний обсяг фасування:

$$Q_p = 420 \text{ т}$$

Зменшення втрат матеріалу:

$$\Delta P = 1,8\% - 0,5\% = 1,3\%$$

Річна економія матеріалу:

$$M_{\text{ек}} = Q_p \cdot 0,013$$

$$M_{\text{ек}} = 420 \cdot 0,013$$

$$M_{\text{ек}} = 5,46 \text{ т}$$

Приймаємо середню вартість сипкого матеріалу:

$$C_{\text{мт}} = 24000 \text{ грн/т}$$

Тоді річна економія:

$$E_{\text{м}} = 5,46 \cdot 24000$$

$$E_{\text{м}} = 131040 \text{ грн}$$

4.5 Розрахунок витрат електроенергії

Потужність електродвигуна:

$$N = 0,75 \text{ кВт}$$

Режим роботи:

- 8 год/добу;
- 250 робочих днів/рік.

Річне споживання електроенергії:

$$W = N \cdot t$$

$$W = 0,75 \cdot 8 \cdot 250$$

$$W = 1500 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Приймаємо промисловий тариф:

$$C_e = 8,5 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$$

Річні витрати на електроенергію:

$$C_{\text{ел}} = 1500 \cdot 8,5$$

$$C_{\text{ел}} = 12750 \text{ грн}$$

4.6 Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект визначаємо:

$$E_p = E_M - C_{ел}$$

$$E_p = 131040 - 12750$$

$$E_p = 118290 \text{ грн}$$

Отже, річний економічний ефект становить:

$$E_p = 118290 \text{ грн}$$

4.7 Розрахунок терміну окупності

Термін окупності визначаємо за формулою:

$$T = \frac{C_M}{E_p}$$

де:

$$C_M = 41200 \text{ грн};$$

$$E_p = 118290 \text{ грн.}$$

$$T = \frac{41200}{118290}$$

$$T = 0,35 \text{ року}$$

Отже, термін окупності модернізації становить:

$$T = 0,35 \text{ року}$$

або приблизно 4 місяці.

4.8 Розрахунок собівартості фасування

Приймаємо:

- річний обсяг продукції:

$$Q_p = 420000 \text{ кг}$$

Собівартість фасування базової машини:

$$C_{\bar{0}} = 1,85 \text{ грн/кг}$$

Після модернізації:

$$C_y = 1,54 \text{ грн/кг}$$

Економія на 1 кг продукції:

$$\Delta C = 1,85 - 1,54$$

$$\Delta C = 0,31 \text{ грн/кг}$$

Річна економія:

$$E_c = 420000 \cdot 0,31$$

$$E_c = 130200 \text{ грн}$$

4.9 Порівняльна таблиця техніко-економічних показників

Таблиця 4.3 – Порівняння техніко-економічних показників

Показник	Базова машина	Удосконалена машина
Тип шнека	Постійний крок	Змінний крок і діаметр
Продуктивність, т/год	2,6	3,24
Кількість контейнерів 25 кг/год	80	98
Похибка дозування, %	1,5–2,0	0,32–0,8
Втрати матеріалу, %	1,8	0,5
Потужність двигуна, кВт	0,75	0,75
Собівартість фасування, грн/кг	1,85	1,54
Річний економічний ефект, грн	—	118290
Термін окупності	—	0,35 року

4.10 Аналіз економічної ефективності модернізації

У результаті виконаного економічного аналізу встановлено, що використання удосконаленого шнека змінної геометрії забезпечує суттєве покращення техніко-економічних показників фасувальної машини.

Основними перевагами модернізації є:

- підвищення продуктивності приблизно на 25 %;
- зменшення втрат сипкого матеріалу;
- покращення стабільності подачі;
- зниження похибки дозування;
- зменшення собівартості фасування;
- підвищення ефективності роботи обладнання.

Встановлено, що економічний ефект від зменшення втрат матеріалу та підвищення продуктивності значно перевищує витрати на модернізацію обладнання.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі виконано економічне обґрунтування удосконалення фасувальної машини для сипких матеріалів. Проведено розрахунок витрат на модернізацію, визначено продуктивність машини, економію матеріалу, витрати електроенергії та річний економічний ефект.

Розрахунки показали, що використання шнека змінної геометрії дозволяє підвищити продуктивність машини до 3,24 т/год, знизити похибку дозування до 0,32–0,8 % та зменшити втрати матеріалу до 0,5 %.

Річний економічний ефект становить понад 118 тис. грн, а термін окупності модернізації складає приблизно 0,35 року, що підтверджує технічну та економічну доцільність впровадження удосконаленої конструкції фасувальної машини.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У кваліфікаційній роботі виконано удосконалення конструкції фасувальної машини для точного дозування та наповнення контейнерів сипучими матеріалами. Проведено аналіз сучасних фасувально-дозувальних машин, досліджено особливості шнекових механізмів та визначено основні недоліки існуючих конструкцій.

У першому розділі виконано аналіз конструкцій фасувального обладнання для сипких матеріалів. Розглянуто принцип роботи шнекових дозаторів, автоматизованих фасувальних систем та пакувальних машин. Встановлено, що найбільш поширеними недоліками існуючих конструкцій є нерівномірність подачі матеріалу, утворення застійних зон у бункерах, нестабільність дозування та перевантаження приводів.

У другому розділі проведено аналіз базової конструкції фасувальної машини та обґрунтовано напрямок її удосконалення. Запропоновано використання удосконаленого шнека змінної геометрії, який має змінний крок і змінний зовнішній діаметр спіралі по висоті робочого органу.

Встановлено, що:

- верхня частина шнека забезпечує активне захоплення сипкого матеріалу;
- середня зона стабілізує переміщення продукту;
- нижня частина забезпечує рівномірне дозування та стабільність фасування.

У результаті розрахунків встановлено, що удосконалена фасувальна машина забезпечує:

- продуктивність близько 3,24 т/год;
- наповнення приблизно 98 контейнерів масою 25 кг за годину;
- зниження похибки дозування до 0,32–0,8 %;
- стабільну подачу сипкого матеріалу;
- зменшення застійних зон у бункері;

- покращення роботи приводу.

Розрахунок міцності показав, що напруження у валу шнека не перевищують допустимих значень, а конструкція має достатній запас надійності та працездатності.

У третьому розділі розглянуто питання охорони праці та захисту в надзвичайних ситуаціях. Проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, розроблено заходи електробезпеки, пожежної безпеки та захисту персоналу під час роботи фасувального обладнання. Виконано розрахунок освітлення та вентиляції виробничого приміщення.

У четвертому розділі виконано економічне обґрунтування удосконалення фасувальної машини. Встановлено, що використання шнека змінної геометрії дозволяє:

- підвищити продуктивність приблизно на 25 %;
- знизити втрати сипкого матеріалу;
- підвищити точність фасування;
- зменшити собівартість продукції;
- покращити стабільність роботи машини.

Розрахований річний економічний ефект становить понад 118 тис. грн, а термін окупності модернізації складає приблизно 0,35 року, що підтверджує економічну доцільність впровадження запропонованого конструктивного удосконалення.

Отже, поставлена у кваліфікаційній роботі мета досягнута, а запропонована конструкція удосконаленого шнека змінної геометрії є технічно та економічно обґрунтованою і може бути рекомендована для використання у фасувальних машинах харчової, агропромислової та переробної галузей.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Андрійчук В. Г. Технологічне обладнання харчових виробництв : підручник. – Київ : НУХТ, 2019. – 523 с.
2. Бурлака В. В. Машини та обладнання для переробки сипких матеріалів. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 412 с.
3. Гевко І. Б. Машини та обладнання для агропромислового виробництва. – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2018. – 356 с.
4. Гевко Р. Б., Рогатинський Р. М. Шнекові механізми сільськогосподарських машин : монографія. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – 320с.
5. Гуменюк Р.В. Дослідження і покращення конструктивних параметрів подрібнювальних машин, які працюють за методами стиску та зсуву. *Вісник Львівського НАУ: Агроінженерні дослідження*. 2008. № 12 . С. 362-364.
6. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014.
7. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризику та зниження ризику. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 38 с.
8. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 142 с.
9. Дроздов О. В. Машини та апарати харчових виробництв. – Київ: НУХТ, 2017. – 410 с.
10. Закон України «Про охорону праці». Київ : Верховна Рада України, 1992.
11. Кузьо І. В., Бойко В. С. Основи проектування технологічного обладнання. – Львів : Сполом, 2018. – 287 с.
12. Левченко В. М. Машини для переробки сипких матеріалів. – Харків: Фактор, 2015. – 310 с.
13. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Розрахунок і конструювання машин та обладнання : навчальний посібник. – Київ : ЦП «Компринт», 2020. – 364 с.

14. Машини для фасування та пакування сипких продуктів / за ред. П. П. Савченка. – Харків : Факт, 2019. – 294 с.
15. Мельников С. В. Механізація і автоматизація технологічних процесів. – Київ : Агроосвіта, 2018. – 410 с.
16. Нечипоренко О. В. Конструкції та розрахунок шнекових транспортерів. – Дніпро : Ліра, 2017. – 246 с.
17. Обладнання для фасування і пакування харчових продуктів : довідник / за ред. М. І. Беляєва. – Київ : Техніка, 2020. – 376 с.
18. Правила пожежної безпеки в Україні. – Київ : МВС України, 2021. – 115 с.
19. Патент України № 126543. Шнековий дозатор сипких матеріалів / Іванюк П. М., Коваль В. І. – Опубл. 25.06.2018.
20. Патент України № 118906. Пристрій для фасування сипких продуктів / Бондаренко О. В. – Опубл. 10.09.2017.
21. Патент України № 135774. Шнековий механізм для дозування порошкоподібних матеріалів / Савченко І. Л. – Опубл. 25.07.2019.
22. Сало В. М. Основи проектування машин і механізмів : навч. посіб. Київ : Кондор, 2016. 320 с.
23. Сиротюк С. В. Механізація переробки та зберігання продукції рослинництва. Курс лекцій. – Львів, 1999. – 249с.
24. Скидан В. О., Ярошенко Л. В. Машини для дозування сипких матеріалів. – Київ : Урожай, 2018. – 315 с.
25. Технологічне обладнання харчових виробництв / за ред. О. М. Черевка. Харків : ХДУХТ, 2015. 450 с.
26. Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П., Мазур І.Б. та ін. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Навч. посібник. Львів: Сполом. 2022. 376 с.
27. Фасувально-пакувальне обладнання харчових підприємств / за ред. М. П. Головка. – Харків : Світ Книг, 2021. – 288 с.

28. Чабанний В. Я. Основи розрахунку та проектування механічного обладнання. – Київ : Інкос, 2017. – 348 с.
29. Штепа В. М. Автоматизація виробничих процесів у харчовій промисловості. – Київ : НУХТ, 2020. – 402 с.
30. Agricultural Engineering Handbook. New York : McGraw-Hill, 2012.
31. Grain Processing Technology / ed. by M. A. Rao. London : Academic Press, 2017.
32. Holenko K., Dykha A., Koda E. and others. Peculiarities of Assessing Body Strength When Converting a Bus from Diesel to Electric Traction Following the UNECE R100 Regulation // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, Issue 14. Art. 8115. <https://doi.org/10.3390/app15148115>.
33. Kogut M., Gumenyuk R. Fracture toughness of thermostressed reinforcement and the effect of temperature variations. *Strength of materials* 2011, Vol:43, P. 543-547. DOI:[10.1007/S11223-011-9326-5](https://doi.org/10.1007/S11223-011-9326-5).
34. Musii R., Klapchuk M., Koda E., Kernytskyi I., Svidrak I., Humeniuk R. and others. Analysis Based on a Two-Dimensional Mathematical Model of the Thermo-Stressed State of a Copper Plate During Its Induction Heat Treatment // Symmetry. 2025. Vol. 17, Issue 5. Art. 754. <https://doi.org/10.3390/sym17050754>.
35. Fellows P. Food Processing Equipment. Cambridge : Woodhead Publishing, 2015.
36. Grain Conditioning and Tempering Technology. London : Elsevier, 2018.
37. FAO. Grain storage techniques. Rome : FAO, 2014.
38. Handbook of Food Engineering / ed. by D. Heldman. New York : CRC Press, 2018.
39. ISO 12100:2010. Safety of machinery – General principles for design.
40. ISO 22000:2018. Food safety management systems – Requirements.
41. <http://uapatents.com/metka/kormiv/page/2>